

Simulation numérique d'un écoulement autour d'un profil d'aile muni d'un volet poreux.

C. HAFIEN^a, A. BOUREHLA^b, T. LILI^a

a. Laboratoire de mécanique des fluides, faculté des sciences de Tunis, 1060 Tunis cedex, Belvédère
b. Ecole de l'aviation de Borj el Amri (EABA), B.P 1142, Tunisie

Résumé :

Le contrôle passif de l'écoulement 2D laminaire par un volet poreux sur l'extrados d'un profil d'aile a été simulé numériquement par le code Fluent.

Il s'agit d'un profil de type NACA 4415 de corde c équipé d'un volet poreux perméable placé en différentes positions sur l'extrados et braqué à différents angles. L'incidence du profil est fixée à 15° , la position du volet varie entre $0,5c$ et $0,75c$ et son angle de braquage est compris entre 30° et 65° . Sa porosité variant entre 10^{-6} et 10^{-12} .

L'influence des différentes caractéristiques du volet poreux sur les performances du profil est étudiée pour un nombre de Reynolds $3,33 \cdot 10^5$.

On montre que pour une certaine combinaison entre les caractéristiques du volet d'extrados, les coefficients de portance et de traînée ainsi que la finesse sont améliorés de façon significative dans le bon sens.

Abstract :

Passive control of the 2D laminar flow by a porous flap on the extrados of an airfoil has been numerically simulated by the CFD Fluent.

It is a NACA 4415 profile with a permeable porous flap placed in different positions on the upper surface and pointed at different angles. The angle of attack of the profile is 15° , the position of the flap is between $0.5c$ and $0.75c$ and its deflection is between 30° and 65° . However, its porosity varies between 10^{-6} and 10^{-12} .

The influence of the porous flap features on profile performance is studied for a Reynolds number of $3,33 \cdot 10^5$.

We demonstrate that for a certain combination of the characteristics of the extrados flap part of the lift and drag coefficients are significantly improved in the right direction.

Mots clefs : contrôle passif; volet poreux; CFD Fluent; NACA 4415.

1 Introduction

Le contrôle pariétal de l'écoulement a une grande importance en aéronautique, côté économique et côté confort. On a deux types de contrôle d'écoulement, un contrôle actif qui est plus efficace mais plus couteux [1] et un contrôle passif. Pour ce là on cherche à améliorer ce dernier pour augmenter son efficacité.

De par son importance, plusieurs travaux scientifiques ont été menés sur le contrôle pariétal passif de l'écoulement en utilisant des volets poreux à libre mouvement autour d'un pivot proche du bord de fuite du profil. Le but étant d'augmenter la portance et diminuer la traînée donc éviter le décrochage de l'avion lors de l'augmentation de l'incidence de l'aile. Bechert D.W. et al [2] se sont intéressés aux effets fluide-dynamique provoqués par la structure et les propriétés des surfaces biologiques. Des techniques sont décrites pour réduire les efforts de cisaillement de la paroi et pour le contrôle du décollement de la couche limite. Favier J. et al [3] ont étudié le contrôle de sillage d'un cylindre circulaire à faible nombre de Reynolds en reproduisant

un pelage numérique. Dans cette étude, l'interaction entre les poils de pelage et le fluide induit une forte diminution de la traînée. De même N. Mazellier et al [4] ont montrés la diminution de 22% du coefficient de frottement dans le cas du contrôle de l'écoulement autour d'un cylindre carré par deux volets poreux fixés sur les faces droite et gauche parallèlement à l'écoulement. Schatz M. et al [5] et Mazellier N. et Courta E. [6] ont étudiés numériquement et expérimentalement l'effet des caractéristiques (longueur, position) du volet auto-adaptif fixé à l'extrados d'un profil aéronautique (de type HQ17 et NACA0015 respectivement), sur les efforts aérodynamiques. Ce type de contrôle est déduit de la nature, c'est un phénomène physiologique qui est observé sur les ailes des oiseaux. Il s'agit d'un système auto-adaptif activé par l'écoulement dans la phase de décrochage.

Dans ce papier nous présentons l'étude numérique par le code Fluent du contrôle passif de décollement sur l'extrados d'un profil aéronautique avec un angle d'incidence proche du décrochage pour un écoulement laminaire à faible nombre de Reynolds. Dans la première partie on présente la configuration (la géométrie du profil, l'angle de braquage, la position et la perméabilité du volet) et la méthodologie de l'utilisation du code Fluent. Les résultats numériques des effets des paramètres géométriques du volet sur la structure globale de l'écoulement et sur les forces aérodynamique seront présentés dans la deuxième partie.

2 Configuration et modélisation numérique

On considère un profil d'aile placé dans une veine d'essai. L'écoulement en amont du profil est laminaire, stationnaire, incompressible, bidimensionnel et à faible nombre de Reynolds.

2.1 Géométrie

Le profil de type NACA 4415, de corde $c=1\text{m}$ est placé dans une veine d'essai de longueur $15c$ et de hauteur $5c$ (FIG. 1).

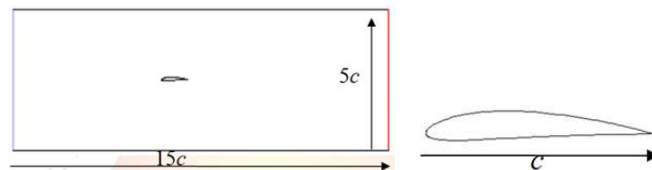


FIG. 1 – Schéma du profil NACA 4415 dans la veine d'essai.

On étudie le contrôle de l'écoulement par un volet perméable fixé sur l'extrados du profil dont l'incidence est fixée à $\alpha=15^\circ$. Dans la réalité pour un volet auto-activé, la position d'équilibre (angle de volet par rapport à l'extrados du profil) est en relation directe avec les forces extérieures exercées sur ce volet (La force de pression et le poids [5]). La différence de pression entre l'intrados et l'extrados du volet dépend de la porosité du volet et du nombre de Reynolds

Dans notre cas nous avons fait varier l'angle de braquage du volet pour différentes positions sur l'extrados du profil.

Les trois configurations étudiées sont décrites sur la FIG. 2 :

Configuration 1 : position du volet et angle de braquage $35^\circ \leq \beta \leq 65^\circ$

Configuration 2 : $x_{vlt}=0,66c$ et $35^\circ \leq \beta \leq 65^\circ$

Configuration 3 : $x_{vlt}=0,5c$ et $25^\circ \leq \beta \leq 45^\circ$

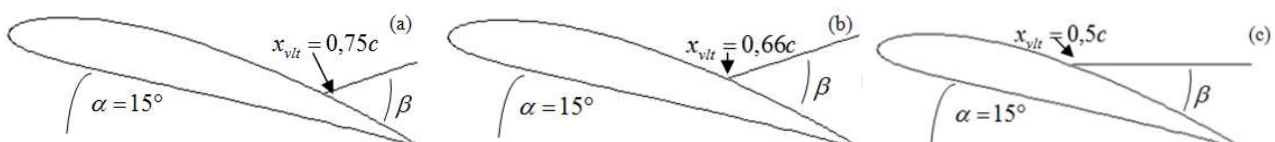


FIG. 2 – Les configurations étudiées : (a) configuration 1; (b) Configuration 2; (c) Configuration 3.

2.2 Modélisation numérique

2.2.1 Maillage et conditions aux limites

Notre problème 2D a été modélisé par le code commercial Fluent. On a utilisé le modèle laminaire avec les différentes configurations pour chercher l'effet de la position, l'angle de braquage et surtout la porosité du volet sur les forces aérodynamiques. La qualité de maillage a une grande importance sur les résultats obtenus par un calcul numérique. Pour cela nous divisons notre domaine en quatre parties pour avoir un maillage structuré et très serré en proche paroi et dans la zone de décollement où se trouve le volet (FIG. 3). Ce domaine est constitué de 28900 cellules.

Nous avons choisi (velocity inlet) comme condition aux limite pour l'entrée de la soufflerie, et (pressure outlet) pour la sortie, (wall) pour les parois de la soufflerie et pour le profil et (poros jump) pour le volet.

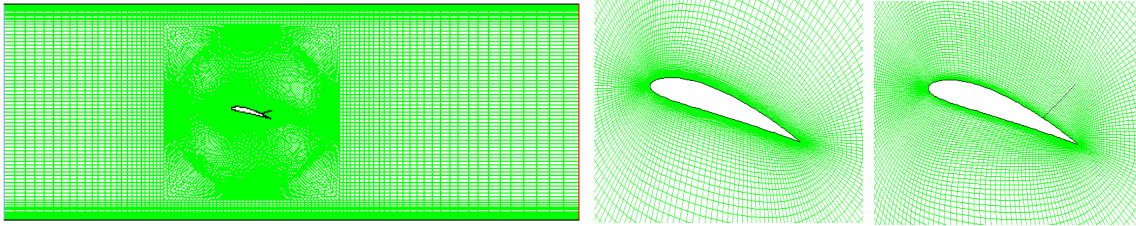


FIG. 3 – Maillage du domaine de travail.

2.2.2 Equations

Les modèles de flux des milieux poreux monophasés et polyphasés utilisent la Formulation Poreuse de Vitesse Superficielle comme valeur par défaut. ANSYS FLUENT calcule la phase superficielle ou la vitesse de mélange en fonction de la vitesse d'écoulement volumétrique dans une région poreuse.

Pour un milieu monophasique l'équation de perte de pression est comme suit:

$$\frac{\Delta p_i}{\Delta x_i} = -\left(\sum_{j=1}^3 D_{ij} \mu v_j + \sum_{j=1}^3 C_{ij} \frac{1}{2} \rho |v| v_j\right) \quad (1)$$

Le terme $\frac{\Delta p_i}{\Delta x_i}$ est composé de deux parties: un terme de perte visqueuse (loi de Darcy), et un terme de perte d'inertie.

Où Δp_i est la différence de pression, Δx_i un terme de variable spatial, $|v|$ est la grandeur de la vitesse et D_{ij} et C_{ij} sont prescrits des matrices.

Pour le cas d'un milieu poreux homogène, l'équation (1) devient :

$$\frac{\Delta p_i}{\Delta x_i} = -\left(\frac{1}{\sigma} \mu v_j + C_2 \frac{1}{2} \rho |v| v_j\right) \quad (2)$$

L'équation utilisée dans Fluent concernant la condition au limite (poros jump) est :

$$\Delta p = -\left(\frac{1}{\sigma} \mu v + C_2 \frac{1}{2} \rho v^2\right) \Delta m \quad (3)$$

Où μ est la viscosité laminaire du fluide, σ la perméabilité du milieu, C_2 le coefficient de pression de saut, v la vitesse normale à la face poreuse, et Δm l'épaisseur du support.

On a fixé à 0,001m l'épaisseur du volet (Δm), 8000 m⁻¹ pour le coefficient de pression (C_2) et on a varié la perméabilité σ entre 10⁻⁶ et 10⁻¹² m².

3 Résultats

Dans cette partie nous présentons les résultats dans le cas de contrôle concernant l'amélioration des forces exercées par l'écoulement sur le profil NACA 4415 (portance, traînée), en fonction de β , σ et de la position

du volet. Puis nous interprétons la structure globale de l'écoulement sur l'extrados de l'aile pour les différentes configurations avec contrôle par comparaison au cas sans contrôle.

3.1 Amélioration des efforts aérodynamiques

Dans un premier temps la perméabilité σ a été fixé à $10^{-10}m^2$ et on a fait varier β de 0° à 65° . L'angle 0° est le cas sans contrôle. L'évolution des coefficients de portance C_z et de traînée C_x en fonction de β pour les trois configurations étudiées sont représentés sur les figures 4.

Les courbes C_z présentent la même évolution linéaire : une croissance pour atteindre une valeur maximale suivi d'une décroissance. L'augmentation de C_z est 52% à $\beta=45^\circ$ pour la configuration 1, 43% à $\beta=35^\circ$ pour la configuration 2 et 28% à $\beta=25^\circ$ pour la configuration 3. L'écart de C_z maximum entre les configurations 1 et 2 est 9%, il vaut 14% entre les configurations 2 et 3.

Les courbes C_x présentent une faible variation par rapport au cas sans contrôle (FIG. 4).

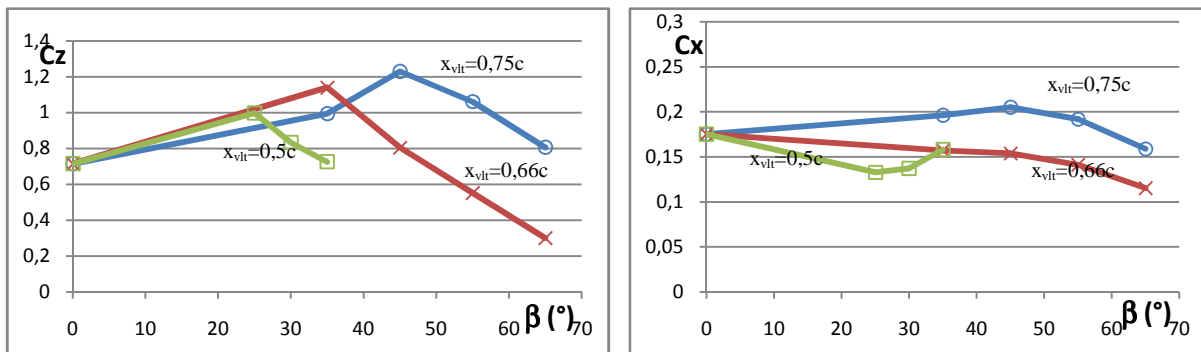


FIG. 4 – Variation des coefficients aérodynamiques en fonction de β pour $\sigma=10^{-10}m^2$.

A partir des résultats précédents, on fixe l'angle de braquage correspondant au C_z maximum soit $\beta=45^\circ$, $\beta=35^\circ$ et $\beta=25^\circ$ respectivement pour les configurations 1, 2 et 3 et on fait varier la perméabilité σ de 10^{-6} à $10^{-12}m^2$.

Les Figures. 5. représentent respectivement les courbes C_z , et C_x en fonction de σ , ce dernier étant gradué en échelle logarithmique.

Il en ressort que C_z , augmente à mesure que la perméabilité diminue. Cette augmentation atteint 30% à

$\sigma=10^{-12}$ dans les trois cas. L'écart de C_z entre les différentes configurations pour une variation de σ est conservé en moyenne, soit respectivement 10% et 13% pour les configurations 1-2 et 2-3.

La variation de C_x est faible, celle-ci est de l'ordre de 2 à 5%.

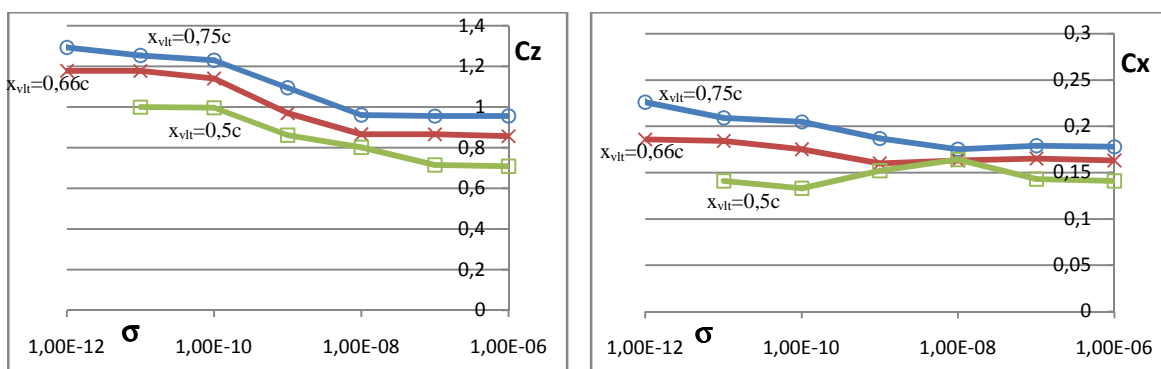


FIG. 5 – Variation des coefficients aérodynamiques en fonction de $-\log(\sigma)$ avec : $\beta=45^\circ$ pour la configuration 1, $\beta=35^\circ$ pour la configuration 2 et $\beta=25^\circ$ pour la configuration 3 .

3.2 Structure globale de l'écoulement

La structure globale de l'écoulement autour du profil est étudiée par le code commercial Fluent en utilisant le menu Display-pathline, cette option est utilisée pour visualiser le flux de particules sans masse dans le

domaine du problème. Les particules sont libérées par une ou plusieurs surfaces que nous avons créés avec les outils dans le menu Surface.

Une comparaison entre le cas sans contrôle et les différentes configurations pour les cas avec contrôle a été effectué.

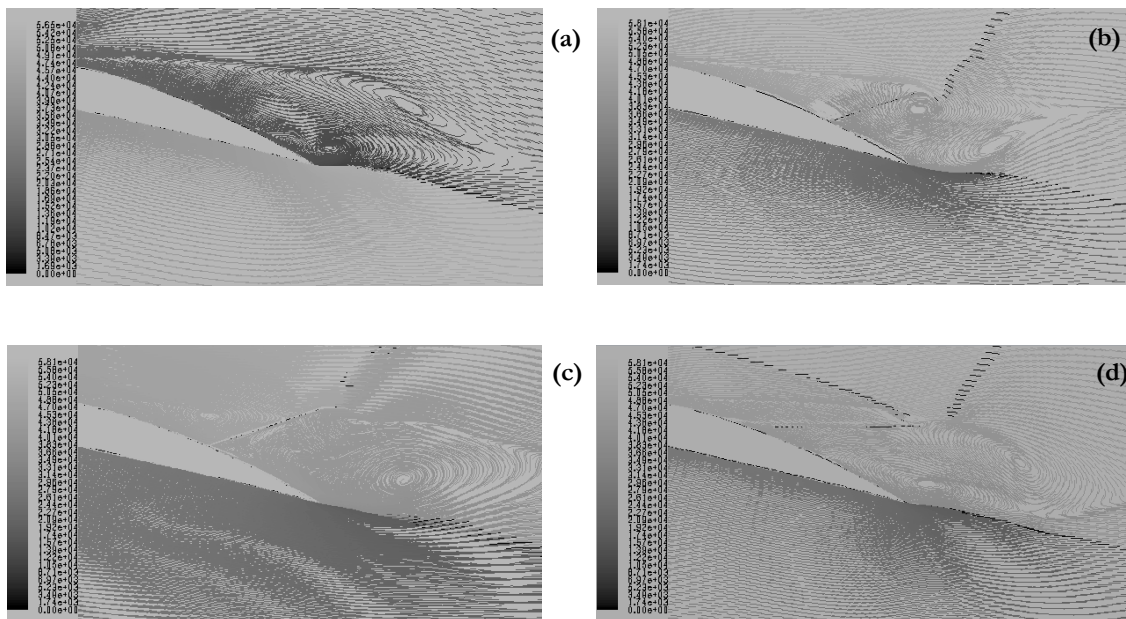


FIG. 6 – Lignes des chemins colorés par particule ID : (a) cas sans contrôle ; (b) configuration 1; (c) configuration 2 ; (d) configuration 3.

Dans le cas sans contrôle il y a présence d'un grand tourbillon sur l'extrados du profil dans la zone de bord de fuite et un autre petit tourbillon contrarotatif en aval de bord de fuite (FIG. 6. a). Le grand tourbillon explique l'existence d'une zone de dépression sur l'extrados du profil et le petit tourbillon indique l'augmentation de pression dans la zone aval de bord de fuite, ce résultat est montré sur la (FIG. 7.). Cette différence de pression entraîne l'élévation du volet jusqu'à une position d'équilibre (dans le cas d'un volet auto-adaptif). La présence du volet influence sur la structure globale de l'écoulement, il y a diminution de la taille de la circulation sur l'extrados du volet (le grand tourbillon pour le cas sans contrôle) et l'augmentation de la circulation à l'intrados du volet (le petit tourbillon pour le cas sans contrôle) (FIG. 6. b, c, et d), ceci est expliqué par la chute soudaine de la pression en amont (FIG. 7.). La dépression créée en amont du volet induit une augmentation de la finesse [6].

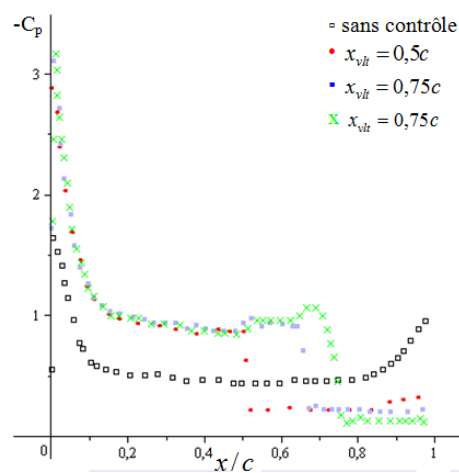


FIG. 7 – Évolution du coefficient de pression sur l'extrados du profil pour les différents cas.

4 Conclusions

Dans cette communication nous avons étudié numériquement par le code Fluent le contrôle passif d'un écoulement 2-D laminaire autour d'un profil de type NACA 4415 pour un nombre de Reynolds égale $3,33 \cdot 10^5$. Un volet poreux est placé sur l'extrados de ce profil en différentes positions (0,75c, 0,66c et 0, 5c) et braqué à différents angles β , la perméabilité σ de ce volet variant de 10^{-6} à 10^{-12} m^2 .

L'augmentation de C_z par rapport au cas sans contrôle est assurée dans tous les cas de figure. Le C_z est d'autant plus important que la position du volet d'extrados s'approche du bord de fuite et que le braquage est important.

La présence du volet entraîne une chute brutale de pression sur l'extrados du profil ce qui induit une amélioration des efforts aérodynamiques dans le bon sens et une augmentation de la finesse.

En perspective, cette étude peut être poursuivie en adoptant un maillage dynamique du domaine et en s'intéressant au problème fluide-structure.

References

- [1] Tian Y., Cattafesta L. N., Mittal R., Adaptive Control of Separated Flow, AIAA, 1401, 2006.
- [2] Bechert D.W., Bruse M., Hage W., Meyer R., Fluid Mechanics of Biological Surfaces and their Technological Application, Naturwissenschaften 87, 157–171, 2000.
- [3] Favier J., Dauplain A., Bassso D., Bottaro A., Passive separation control using a self-adaptive hairy coating, JFM 627, 451–483, 2009.
- [4] Mazellier N., Feuvrier A., Kourta A., Biomimetic bluff body drag reduction by self-adaptive porous flaps, arXiv:1107.4975v1 [physics.flu-dyn], 25 Jul 2011.
- [5] Schatz M., Knacke T., Thiele F., Separation Control by Self-Activated Movable flaps, 42th AIAA Aerospace Sciences Meeting & Exhibit, 5-8 January 2004 / Reno, NV.
- [6] Mazellier N., Kourta A., Amélioration des performances aérodynamiques d'un profil au moyen d'un actionneur passif auto-adaptatif, 20^{ème} Congrès Français de Mécanique Besançon, 29 août au 2 septembre 2011.